

**CROISSANCE, PIGMENTS ET PHOTOSYNTHÈSE
CHEZ *DRAPARNALDIA MUTABILIS*
(CHAETOPHORALES, CHLOROPHYTA)***

M. DUCHER**

RÉSUMÉ - Le but de ce travail est de corréler la croissance de *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Cedergr en lumière blanche et sous des radiations oligochromatiques, iso-énergétiques : bleue (440 nm \pm 10), rouge (660 nm \pm 10), jaune (590 nm \pm 10) avec les teneurs en pigments et la capacité photosynthétique des thalles. La lumière bleue induit une croissance et une teneur en pigments des thalles identiques à celles des témoins. En lumière rouge et jaune, la croissance est très inférieure à celle des témoins; il faut également noter un effondrement des teneurs en pigments photorécepteurs. La photosynthèse nette est identique sous les différents éclairagements oligochromatiques mais diminuée de 50 % par rapport aux témoins. Une hypothèse sur l'action de la lumière bleue est avancée.

ABSTRACT - The purpose of this research is to correlate the growth of *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Cedergr under white or monochromatic isoenergetic light : blue (440 nm \pm 10), red (660 nm \pm 10), yellow (590 \pm 10) with the pigment content and net photosynthesis of thallus. Blue light induces a growth and a level of pigments equal to the control. Under red and yellow light the growth is much lower than the control and the pigment content decreases sharply. The net photosynthesis does not vary under the different monochromatic lights, but is 50 % lower than the controls.

MOTS CLÉS : *Draparnaldia*, pigments, photosynthèse, photopériodisme.

INTRODUCTION

Draparnaldia mutabilis est une Chlorophycée filamenteuse à croissance intercalaire appartenant au groupe des Chaetophorales, (Chlorophycées). Des études préliminaires ont montré le rôle important de la composition spectrale de la lumière sur le développement de ces algues (LARPENT et JACQUES, 1972). Les radiations jaunes et bleues favorisent la croissance, alors que les radiations rouge-clair sont inhibitrices. Ces résultats ont été également observés chez *Lami-*

* Communication présentée au Colloque de la Société Phycologique de France à Caen (25-27 avril 1986), en hommage à Madame le Professeur P. GAYRAL.

** Laboratoire de Phytomorphogénèse, 4 rue Ledru, 63038 Clermont-Ferrand Cedex.

maria digitata (COSSON et al., 1976). Le rythme d'éclairement intervient également sur le développement des thalles. Les photopériodes de 12 h et 18 h d'éclairement sur 24 h induisent une croissance supérieure à celle obtenue en lumière continue (LARPENT et JACQUES, 1973). Certains auteurs (GUÉRIN-DUMARTRAIT et al., 1973; VAN DER VELDE, 1977; BOGORAD et al., 1982) ont montré une adaptation chromatique chez certaines algues se développant sous des radiations oligochromatiques. Au cours de ce travail, nous avons essayé de mettre en évidence une adaptation chromatique chez *Draparnaldia mutabilis* et de corrélérer la croissance, l'équipement pigmentaire et la capacité photosynthétique de thalles se développant en lumière blanche et sous des radiations oligochromatiques isoénergétiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Conservation de la souche

La souche de *Draparnaldia mutabilis* est cultivée sur un substrat organique à base d'extrait de viande et de bactopeptone Difco (LARPENT et JACQUES, 1973). Les thalles sont repiqués toutes les trois semaines, maintenus à une température de $18^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ et sous un éclairement blanc continu de $23 \mu \text{ mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (énergie maximale). Ces conditions de culture permettent de maintenir une bonne croissance des thalles.

Conditions expérimentales

En lumières oligochromatiques, l'énergie d'éclairement est de $23 \mu \text{ mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Les thalles sont également repiqués toutes les trois semaines, maintenues à $18^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, mais sous un rythme d'éclairement de 18h/24h.

L'éclairement blanc témoin est fourni par des tubes fluorescents Mazda «Blanc Industrie».

Les lumières rouge ($660 \text{ nm} \pm 10$) ou bleue ($440 \text{ nm} \pm 10$) sont données par des tubes «TL fluorescent lamp coloured» Philips. L'éclairement jaune ($590 \text{ nm} \pm 10$) est obtenu par une lampe à vapeur de sodium «basse pression» Mazda.

Les énergies lumineuses sont mesurées avec un Quantum sensor Li Cor. Les mesures de croissance sont réalisées au microscope sur des cultures en cellules de Van Tieghem ($G \times 200$).

Extraction et dosages des pigments photorécepteurs :

— Les chlorophylles

Les thalles lyophilisés sont incubés en présence d'acétone aqueuse à 90 % (V/V) pendant une nuit à 4°C . L'extrait acétonique obtenu est séché au rotavapor, repris deux fois par de l'éthanol absolu pour éliminer toutes traces d'eau. Un volume connu d'acétone pure refroidie (Merck) est rajouté. Le dosage des chlorophylles a et b est réalisé suivant la technique d'ARNON (1949) en mélan-

geant l'extrait acétonique pur avec de l'eau dans un rapport 80/20. Les manipulations sont réalisées au froid et à l'abri de la lumière.

— Les caroténoïdes

L'extrait acétonique pur restant est concentré sous un courant d'azote, puis déposé en totalité sur une plaque de chromatographie (silicagel T. 60). La plaque est éluée par un mélange acétone-éther de pétrole (40/60 - V à V). Les différentes bandes colorées sont grattées; éluées sur verres frités avec de l'acétone pure. Les extraits acétoniques sont évaporés; repris par un volume connu d'éther de pétrole pour le β carotène et d'éthanol absolu pour les xanthophylles (lutéines, néoxanthine). Les densités optiques sont lues au maximum d'absorption des différents pigments dans leur solvant respectif : 445 nm pour le β -carotène, 446 nm pour la lutéine 438 nm pour le néoxanthine.

Les concentrations sont obtenues en appliquant la formule :

$$C_{\mu g} = \frac{DO \times V \times 10^4}{E.L.}$$

E : coefficient d'absorption spécifique du pigment dans le solvant utilisé; L : longueur de la cuve; DO : densité optique au maximum d'absorption; V : volume de reprise du spot.

La capacité photosynthétique des thalles est caractérisée par la photosynthèse nette mesurée à l'aide d'une électrode à oxygène (type électrode de Clark) «Hansatech».

RÉSULTATS

Action des radiations lumineuses sur la croissance

Des études préliminaires de LARPENT et JACQUES (1973), confirmées

Temps de culture Radiations	N C	2 semaines	4 semaines	6 semaines	8 semaines
Blanc	45 ± 6	54 ± 15	115 ± 25	146 ± 18	155 ± 23
Bleu	63 ± 12	81 ± 14	90 ± 20	125 ± 23	140 ± 25
Rouge	30 ± 6	36 ± 9	41 ± 7	56 ± 3	68 ± 5
Jaune	51 ± 10	42 ± 8	38 ± 4	33 ± 5	26 ± 3

Tableau 1 : Vitesse de croissance des thalles en μ /24h se développant sous différentes radiations en fonction du temps de conditionnement. — N C : non conditionné.

Pigments en mg/g de matière sèche	Chlorophylle a				Chlorophylle b				R a/b			
	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune
2 semaines	26 ± 2	30 ± 3	23 ± 3	17 ± 2	12 ± 1	13 ± 2	11 ± 1	9 ± 1	2,2	2,2	2,1	1,8
4 semaines	31 ± 3	32 ± 3	26 ± 1	17 ± 2	14 ± 1	15 ± 2	12 ± 0,5	9 ± 1	2,2	2,1	2,2	1,8
6 semaines	31 ± 3	32 ± 2	23 ± 2	13 ± 1	14 ± 1	17 ± 2	11 ± 1	8 ± 1	2,1	2,2	2,1	1,6
8 semaines	32 ± 4	33 ± 2	26 ± 2	14 ± 2	15 ± 1	17 ± 1	12 ± 1	8 ± 1	2,1	2,2	2,1	1,7

TABLEAU II

Étude des teneurs en chlorophylle a et chlorophylle b du thalle de *Draparnaldia mutabilis* cultivé sous différentes radiations pendant des temps variables. Les teneurs sont données en mg/g de matière sèche.

par nos propres résultats, ont montré qu'une photopériode de 18 h / 24 h induit la meilleure croissance des thalles. Cette photopériode sera donc utilisée dans toutes nos expériences comme condition témoin de croissance optimale.

Pour une même énergie de $23 \mu \text{ moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, les radiations bleues et jaunes induisent une vitesse de croissance identique à celle des témoins se développant en lumière blanche. Les radiations rouge-clair provoquent un ralentissement de croissance des thalles. (Tableau I).

Si préalablement aux mesures de croissance en cellule de Van Tieghem, les thalles sont cultivés en lumière blanche ou oligochromatique sous une photopériode de 18 h / 24 h pendant 2, 4, 6 ou 8 semaines, la vitesse de croissance augmente pour les thalles cultivés en lumière rouge clair. Au contraire ceux se développant en lumière jaune voient leur croissance de plus en plus ralentie.

Les organismes se développant en lumière blanche et bleue présentent toujours une croissance maximum (Tableau I).

Évaluation des teneurs en pigments photosynthétiques en fonction de la qualité d'éclairement

Sous la lumière oligochromatique bleue, la teneur des thalles en chlorophylles a et b est identique à celle des témoins se développant en lumière blanche (Tableau II). Au niveau des pigments accessoires, les quantités de β carotène et néoxanthine restent stables au cours du temps. Cependant, après 6 semaines sous la lumière bleue, la teneur en lutéine est multipliée par 2 (Tableaux II et III).

Mesure de la photosynthèse nette

a) En fonction de la photopériode :

Trois photopériodes sont étudiées : 8 h / 24 h - 18 h / 24 h - 24 h / 24 h. Aucune modification de la photosynthèse nette n'a été notée. Il n'y a pas de rythme circadien. La photosynthèse nette est inférieure à celles des témoins en lumière continue pour les organismes se développant sous une photopériode de 8 h / 24 h. Pour les thalles cultivés une semaine en photopériode de 18 h / 24 h, la photosynthèse nette est stimulée mais se stabilise ensuite au niveau de celle des témoins maintenus en lumière continue (Figures 1a et 1b).

b) En fonction de l'éclairement :

Pour les cultures d'une semaine, il n'y a pas de modification de la photosynthèse nette en fonction de la longueur d'onde. Celle-ci est cependant diminuée de 75 % par rapport à celle des témoins en lumière blanche (Figure 2). Après 6 semaines de culture en éclairage oligochromatique, il n'y a pas de modification de l'activité photosynthétique, cette dernière devenant cependant plus faible en lumière blanche ($\cong 30\%$) (Figure 3).

Pigments mg/g de matière sèche		B-carotène				Lutéine				Néoxanthine			
Temps de croissance	Radiations	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune	Blanc	Bleu	Rouge	Jaune
2 semaines		0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,5 ± 0,08	0,5 ± 0,07	1,9 ± 0,4	1,8 ± 0,2	1,3 ± 0,2	1,5 ± 0,3	0,7 ± 0,05	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,05	0,5 ± 0,03
4 semaines		0,8 ± 0,2	0,95 ± 0,2	0,6 ± 0,08	0,4 ± 0,08	2,2 ± 0,2	2,8 ± 0,3	2,5 ± 0,1	1,2 ± 0,3	0,9 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,7 ± 0,04	0,4 ± 0,03
6 semaines		0,9 ± 0,05	1,1 ± 0,2	0,6 ± 0,05	0,4 ± 0,08	2,5 ± 0,2	3,2 ± 0,2	2,5 ± 0,3	1 ± 0,2	0,9 ± 0,3	1 ± 0,1	0,8 ± 0,05	0,4 ± 0,02
8 semaines		0,8 ± 0,05	1,2 ± 0,3	0,5 ± 0,08	0,3 ± 0,05	2,8 ± 0,2	3,7 ± 0,1	2,5 ± 0,2	1 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,1 ± 0,1	0,8 ± 0,05	0,4 ± 0,02

TABLEAU III

Étude des teneurs en caroténoïdes des thalles de *Draparnaldia mutabilis* cultivés pendant des temps variables sous diverses radiations.
Les teneurs sont données en mg/g de matière sèche.

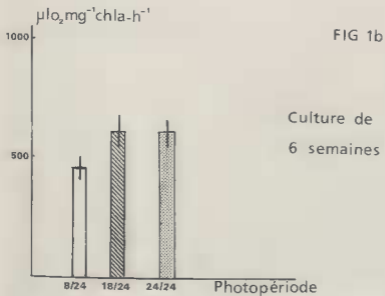
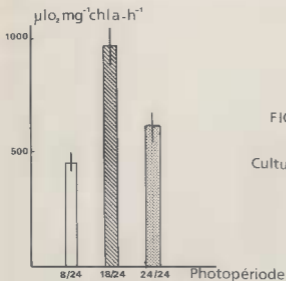


Figure 1a — Mesure de la photosynthèse nette en fonction de la photopériode.

Figure 1b — Variation de la photosynthèse nette en fonction du temps de culture pour la photopériode 18 h / 24 h.

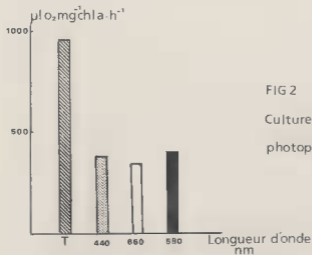


FIG 2

Culture de 8 jours
photopériode 18/24

Figure 2 — Mesure de la photosynthèse nette pour des cultures de 8 jours ($23 \mu \text{ moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sous différentes radiations.

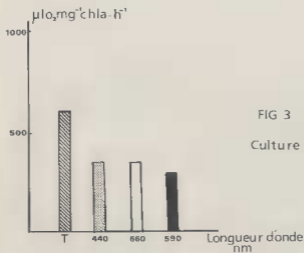


FIG 3

Culture de 6 semaines

Figure 3 — Mesure de la photosynthèse nette pour des cultures de 6 semaines ($23 \mu \text{ moles m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) sous différentes radiations.

CONCLUSION - DISCUSSION

Chez *Acetabularia* (algue verte) et *Dictyota* (algue brune), la croissance et la photosynthèse nette diminuent lorsqu'on prolonge l'exposition à la lumière rouge-clair; la croissance cesse virtuellement après 2 ou 3 semaines (CLAUSS, 1968; MÜLLER et CLAUSS, 1976).

Les résultats obtenus avec *Draparnaldia mutabilis* sont comparables pour les organismes cultivés en lumière rouge-clair et jaune. Une diminution de 25 % (en rouge clair) et 50 % (en jaune) des teneurs en chlorophylles a et b des thalles est à mettre en parallèle avec l'arrêt de croissance constaté après 4 semaines de culture, et un taux de photosynthèse nette diminué de 50 % par rapport aux thalles témoins cultivés en lumière blanche. Y a-t-il un blocage de la synthèse ou une accélération de la dégradation des chlorophylles ?

La croissance des thalles de *Draparnaldia mutabilis* soumis aux radiations bleues est identique à celle observée chez les thalles témoins. Les teneurs en chlorophylles a et b sont identiques. Il existe donc une inadéquation apparente entre la croissance, la teneur en pigments et la photosynthèse nette chez ces organismes.

Chez les algues, comme chez les champignons et les plantes supérieures, la lumière bleue a un effet stimulateur sur la synthèse des caroténoïdes (DE FABO et al., 1976; GRUMBACH et LICHTENTHALLER, 1975). Nous retrouvons ce résultat au niveau de la lutéine chez *Draparnaldia mutabilis*.

Cette teneur élevée en lutéine pourrait exercer un effet inhibiteur sur la photosynthèse et justifier en partie, l'activité photosynthétique faible des thalles cultivés en radiations bleues (GAUDILLIÈRE, 1979). La photorespiration est augmentée en lumière bleue. Le glycolate formé est oxydé en glyoxylate, puis transformé en glycine et sérine, ces deux composés entrant dans la synthèse des protéines. Les algues sont capables d'excréter du glycolate dans le milieu extérieur, celui-ci étant ensuite réabsorbé. La production accrue de glycolate en lumière bleue et son utilisation dans la synthèse des protéines peut expliquer la bonne croissance des thalles en lumière bleue associée à une photosynthèse nette faible. Le dosage du glycolate dans le milieu de culture, au cours du temps et sous les différents éclairagements oligochromatiques est donc à l'étude.

Il faut enfin signaler le rôle différent des radiations oligochromatiques lorsqu'elles sont fournies seules ou en éclairagement d'appoint. Si les thalles sont cultivés en éclairagement blanc 18 h / 24 h pendant 10 jours le remplacement de la période obscure par un éclairagement oligochromatique de même énergie ($0,25 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$) entraîne une diminution de la vitesse de croissance des thalles. Les radiations bleues ($\lambda = 476 \text{ nm}$) et jaune ($\lambda = 576 \text{ nm}$) sont les moins inhibitrices (LARPENT et JACQUES, 1973). La lumière jaune étant peu absorbée par les chlorophylles, les thalles se comportent comme s'ils étaient placés à l'obscurité, d'où une croissance identique à celle des témoins.

En lumière rouge, au contraire, il y a saturation du système photosynthétique et une croissance ralentie. La lumière bleue en faisant fonctionner la photorespiration, permet une bonne croissance des thalles.

Lorsque les radiations oligochromatiques sont fournies seules, il n'y a pas l'apport compensatoire des autres radiations de la lumière blanche qui permettrait une bonne croissance des thalles. En lumière rouge, la concentration en chlorophylle est faible (l'aspect morphologique des chloroplastes est différent) d'où une croissance ralentie des thalles.

Nous devons également noter que la teneur en pigments n'est pas affectée par le temps de culture sous les radiations oligochromatiques (sauf pour la lutéine) mais varie fortement en fonction de la longueur d'onde.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos vifs remerciements à Messieurs les Professeurs J. P. Larpent et A. Coudret pour leurs nombreux conseils et leur aide dans la rédaction de cet article.

Nous remercions Mesdemoiselles O. Michaux et M.P. Aumaire pour leur aide technique.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNON D.J., 1949 — Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant. Physiol.* 24 : 1-5.
- BOGORAD L., GENDEL S.M., HAWY J.H. et KOLLER K.P., 1982 — Photomorphogenesis and complementary chromatic adaptation in *Fremyella diplosiphon*. In PAPAGEORGIOU G.C. and PARKER L. (Eds.), *Photosynthetic prokaryotes, Cell differentiation and function*. Elsevier Biomedical.
- CLAUSS H., 1968 — Beeinflussung der Morphogenese, Substanz Produktion und Proteinvermehrung von *Acetabularia mediterranea* durch sichtbare Strahlung. *Protoplasma* 65 : 49-80.
- COSSON J., GAYRAL P. et JACQUES R., 1976 — Action de la composition spectrale de la lumière sur la croissance et la reproduction des gamétophytes de la *Laminaria digitata* (L.) Lam. (Phéophycée, Laminariales). *Compt. Rend. Hebd. Séances Acad. Sci.* 283 : 1293-1296.
- DE FABO E.C., HARDING R.W. et SHROPSHIRE J.W., 1976 — Action spectrum between 260 and 800 nanometers for the photoinduction of carotenoid biosynthesis in *Neurospora crassa*. *Plant. Physiol.* 57 : 440-445.
- GAUDILLIERE J.P., 1979 — Variabilité du rendement quantique de la photosynthèse des plantes supérieures. Recherche de facteurs limitants. Thèse doctorat d'État, Université de Paris Sud Orsay.
- GRUMBACH K.H. et LICHTENTHALER H.K., 1975 — Kinetic of lipoquinone and pigment synthesis during red light induced thylakoid formation in etiolated barley seed lings. *Z. Naturforsch* 30 : 237-341.
- GUERIN-DUMARTRAIT E., HOARAU J., LECLERC J.C. et SARDA C., 1973 — Effets de quelques conditions d'éclairement notamment de la lumière rouge, sur la composition pigmentaire et la structure de *Porphyridium* sp. (Lewin). *Phycologia* 3/4 : 119-130.
- LARPENT J.P., JACQUES R., 1972 — Croissance, chlorophylle et phytochrome chez *Draparnaldia mutabilis* (Roth) Cederq cultivé en radiations monochromatiques. *Compt. Rend. Hebd. Séances Acad. Sci.* 274 : 1297-1299.
- LARPENT J.P., JACQUES R., 1973 — Influence de la durée de l'éclairement sur la croissance du thalle de quelques algues (trois Chaetophorales et une Rhodophycée). *Plant Science Letters* 1 : 339-347.
- MÜLLER S., CLAUSS H., 1976 — Aspects of photomorphogenesis in the brown alga *Dicotyta dichotoma*. *Z. Pflanzenphysiol.* 78 : 461-465.
- VAN DER VELDE H.H., 1977 — The growth of *Acrochaetium* under red, white and blue light. Thèse Université d'Amsterdam.